énerSage

Pour l'industrie
et le commerce

ÉCONOMIES GRÂCE À L'OPTIMISATION DE LA CHAÎNE DE PRODUCTION 4

Énergie, Mines et Ressources Canada
Bureau de la conservation de l'énergie

Energy, Mines and Resources Canada
Office of Energy Conservation

92-06171/

Comité de rédaction

B.W. Robinson, Ontario Hydro

N. Cuchurean, Celanese Canada Limited

J.S. Rogers, MacMillan Bloedel Limited

F.R. Wiesegger, 3M Canada Limited

Michael Kappl, General Motors of Canada Ltd.

Carl Wintermeyer, General Motors of Canada Ltd.

T. Toomes, Canron Limited

Gerry McParland, John Deere Welland Works

D.F. Ainslie, Borg-Warner (Canada) Limited

L.R. Thomas, Dresser Industries Canada, Ltd.

C.B. Moore, Northern Telecom Limited

Art Bacon, General Foods Ltd.

Dr. S.J. Viron, Cyanimid of Canada Limited

A.C.S. Hayden, Canadian Combustion Research Laboratory

Table des matières

Introduction	1
Texte	1
Étude de cas	8
Suggestions	14
Conversion au système métrique	15

E1-77-11
© Ministre des Approvisionnements et Services Canada 1980
N° de cat. M91-2/4-1980F
ISBN 0-662-90876-7

Publié en vertu de l'autorisation du
Ministre de l'Énergie, des Mines, et des Ressources

ÉCONOMIES GRÂCE À L'OPTIMISATION DE LA CHAÎNE DE PRODUCTION 4

Économies grâce à l'optimisation de la chaîne de production

Introduction:

L'optimisation de la production est peut-être le sujet le plus vaste parmi tous ceux étudiés dans la documentation sur la conservation de l'énergie. Ce sujet met en cause tout le domaine de la gestion des matériaux; c'est pourtant celui qui semble le plus négligé par l'industrie canadienne.

Assez naturellement, ce domaine offre d'importantes possibilités de réduire la consommation d'énergie, selon la relation qui existe dans chaque industrie entre l'utilisation de l'énergie et l'augmentation de la production.

Cette brochure aborde certaines des questions les plus générales et fournit quelques exemples concrets de programmes appropriés réalisés par des sociétés canadiennes et américaines.

Optimisation de la production

Parmi toutes les mesures de conservation de l'énergie qui peuvent être mises en oeuvre dans l'industrie canadienne, les plus simples, du point de vue théorique, sont celles qui visent à accroître la production à partir de la consommation énergétique actuelle ou à réduire cette consommation tout en maintenant le niveau de production actuel.

Cependant, dans ce domaine d'économies budgétaires plus que dans tout autre, il faut avoir une vue d'ensemble objective de la gestion des matériaux à l'intérieur de l'usine. Le mouvement des matériaux, depuis l'arrivée à l'usine jusqu'au marché, est un système continu: tout changement intervenant en cours de route a provoque des répercussions directes sur toutes les opérations subséquentes. Il faut donc considérer les problèmes d'optimisation de la production et d'énergie comme un tout, dans lequel les facteurs d'équipement, de matériaux et de main-d'oeuvre constituent des variables importantes.

Le principe selon lequel une quantité donnée doit être produite pendant une période donnée (une semaine de travail) à partir d'une quantité de matières premières donnée et d'une main-d'oeuvre fixe présente des contraintes importantes. Mais puisque l'équipement et la main-d'oeuvre sont rarement utilisés 24 heures par jour, sept jours par semaine, nombreuses sont les possibilités permettant d'organiser les opérations d'exploitation de façon à minimiser la consommation énergétique.

De même, nombreux sont les cas où l'on peut modifier l'équipement afin d'utiliser la même source d'énergie de façon plus rentable ou une forme d'énergie plus économique.

Un dernier domaine important dans lequel certaines économies demeurent possibles ne tient pas à une diminution de la consommation énergétique. Il s'agit de l'échelonnement de la consommation possible grâce à la nature même de l'énergie électrique et aux principes de facturation appliqués par les services publics. À partir d'une même consommation de kWh par semaine, il est possible de réaliser des économies importantes en régularisant soigneusement les coefficients de charge et les facteurs de puissance.

L'échelonnement: réduction de la consommation énergétique

L'échelonnement de la consommation énergétique comporte deux éléments. Ce système permet soit de minimiser la consommation sur une base unitaire, soit d'éviter des suppléments dans les factures d'électricité. La difficulté à réaliser chacun de ces objectifs dépend de la nature de l'usine et du procédé industriel en application.

Ainsi, il est relativement simple de reporter la charge de batteries des chariots élévateurs à un autre poste ou à un poste d'arrêt afin de réduire la consommation d'énergie de pointe. Cette opération ne faisant appel à presque aucune main-d'oeuvre, il n'y a pas de répercussions sur les primes de poste et autres facteurs de main-d'oeuvre.

De même, il est souvent facile d'éliminer les pertes de temps entre les postes ou de débrancher le matériel pendant les postes d'arrêt (voir "Étude de cas"). Pas contre, il est beaucoup plus difficile de réorganiser les opérations de façon à ce que l'utilisation de l'équipement et de l'énergie soit concentrée sur, par exemple, une période continue de 48 heures au lieu d'être échelonnée sur cinq jours.

Les substitutions nécessaire sont souvent nombreuses. Elles doivent être examinées lors des prises de décisions. Cependant, après étude, on s'aperçoit que la réorganisation des opérations ne représente souvent qu'un inconvénient temporaire pour l'ensemble du procédé de production. Les employés et la direction peuvent très bien s'habituer à de nouvelles méthodes. Les économies qui en résultent peuvent être importantes et viennent s'ajouter aux profits de l'entreprise.

On peut s'attendre à ce que bon nombre de ces suggestions remontent d'une analyse sur l'utilisation de l'énergie par l'usine effectuée au cours d'une vérification, première étape essentielle (voir brochure n° 1 de cette série). Cependant, une attitude active et curieuse qui considère la production comme une possibilité d'améliorer les taux de production et le rendement énergétique est une force décisive dans ce domaine.

En raison des coûts énergétiques actuels, il est impératif que les entreprises établissent le coût de leurs produits, par unité, du point de vue énergétique. Il est donc clair évident qu'il faut tenir compte tant du facteur consommation énergétique que du taux de production.

L'échelonnement: allégement des factures

Tout échelonnement ou modification de la production qui permet d'améliorer le rendement énergétique résulte finalement en une distribution de la consommation énergétique. Si, selon l'un des exemples de notre étude de cas, des contrôleurs à came permettent de réduire la quantité d'air comprimé nécessaire à une machine, retardant aussi ou éliminant l'acquisition d'un nouveau compresseur, l'énergie nécessaire à la production de l'air comprimé sera forcément moindre.

Si une chaîne de gavanoplastie peut fonctionner à plein rendement pendant trois jours et que la chaleur de bains chauffés au gaz réduite ou élimiée pendant les quatre autres jours de la semaine, la diminution de la consommation de gaz apparaîtra sur la facture. Le même principe est valable pour les procédés utilisant le chauffage à l'huile où la consommation réelle représente le seul facteur qui entre en considération dans la facturation.

Dans le cas de l'électricité, la question devient plus complexe, puisqu'il est possible de réaliser des économies mensuelles sans diminuer la consommation réelle en kWh.

Bien que les factures d'électricité soient des documents complexes et que les méthodes de facturation varient d'une région à l'autre, les éléments de base de la facture restent les mêmes. Habituellement, la facture est préparée en tenant compte des éléments suivants:

- la consommation totale d'électricité pendant le mois;
- la consommation d'énergie de pointe pour le mois en question, soit la charge totale consommée pendant une période au cours du mois;
- moins les rabais accordés selon les termes du contrat de fourniture (dans le cas de transformateurs fournis par le client).

C'est la consommation en kWh qui offre les meilleures possibilités d'économies grâce aux multiples programmes de conservation de l'énergie qui permettent de réduire la consommation d'électricité sur une base globale pour toute la période de facturation. Il y a perte d'énergie lorsque le matériel reste en marche alors que ce n'est pas nécessaire, lorsque les fils sont trop petits, l'isolation insuffisante, les moteurs trop puissants pour les besoins, l'éclairage excessif, les transformateurs surchargés ou simplement lorsque l'équipement et les procédés industriels sont mal choisis ou mal utilisés. Cette série de brochures donne de nombreux exemples sur la façon de réduire la consommation d'électricité.

Cependant, la facture tient aussi compte de la puissance appelée. Par exemple, même si l'appel de pointe ne dure que 20 mn pendant le mois de facturation, le service public doit le facturer afin de couvrir ses investissements dans l'équipement nécessaire à la fourniture de cette énergie de pointe.

Habituellement, une facture d'électricité détaille l'appel de pointe en même temps que la consommation globale.

Une facture indique la consommation globale en kWh, l'appel de pointe en kW et le montant facturé pour chaque poste. Cependant, il est peu probable qu'elle fournisse des données sur l'efficacité de l'utilisation de l'énergie de pointe (facteur de puissance) ou sur l'échelonnement des appels de pointe (coefficient de charge), deux éléments décisifs dans la conception de systèmes qui permettent de diminuer les montants facturés.

Cependant, on peut calculer le coefficient de charge à partir des éléments de la facture et les sociétés qui disposent de deux compteurs électriques peuvent facilement établir le facteur de puissance

Facteur de puissance

En termes simples, les services publics locaux accordent généralement à la plupart des sociétés une efficacité minimum de 90% pour leurs appels de puissance. Au-dessous de ce niveau, les sociétés doivent payer des suppléments.

Habituellement, chaque usine possède deux compteurs, l'un enregistrant la puissance appelée en kVA, l'autre enregistrant la puissance consommée en kW. Prenons comme exemple une usine dont le compteur enregistrant les kVA indique 1 000 kVA et celui des kW, 700 kW.

Le service public facturers soit 90% des kVA consommés, soit 100% des kW consommés, selon la valeur la plus grande. Dans ce cas précis, la facturation porterait sur 900 kW et non sur les 700 kW réellement consommés.

Cependent, si le facteur de puissance passait de $\frac{700}{1000}$, 70% à 90% (niveau acceptable); la puissance appelée tomberai à $\frac{700}{0,9}$ = 778 kVA et la facturation porterait sur 700 kW. L'usine n'aurait alors aucun supplément à payer en raison du facteur de puissance (voir exemple "Amélioration du facteur de puissance grâce au moteur synchrone").

Causes d'un facteur de puissance faible

Avant que des mesures puissent être mises en oeuvre pour améliorer un facteur de puissance faible ou déphasé, en retard sur la tension, il apparaît essentiel d'en comprendre la cause. Il s'agit en fait de la charge inductive causée par l'emploi d'appareils électromagnétiques tels que:

- les moteurs à induction,
- les fluorescents sans dispositif de correction du facteur de puissance et les ballasts d'appareils d'échange à puissance élevée,
- les soudeurs à l'eau,

- les solénoides,
- le matériel de chauffage à induction, les aimants de levage et de nombreux autres appareils à induction.

Cependant, les moteurs à induction sont les grands responsables en la matière. Ils ont même dans les meilleurs cas un facteur de puissance faible qui diminue encore dans des conditions de charge faible.

Par exemple, on a découvert dans une usine qu'il y avait 100 moteurs à induction qui fonctionnaient au ralenti pendant la nuit entre les différents postes. Dans la plupart des usines, il n'est pas rare de découvrir un nombre surprenant de moteurs à induction de 20 hp qui entraînent des charges n'exigeant qu'un moteur de 5 hp. Lors de la facturation, les suppléments occasionnés pour de telles pratiques sont élevés. Ces suppléments, sont évidemment les résultats les plus frappants, mais ils ne sont pas les seuls. Un facteur de puissance faible peut résulter en des courants d'une intensité plus élevée qu'il ne faut, causant des chutes de tension et des pertes dans les réseaux de l'usine. Dans de nombreuses régions du Canada, ce problème a coûté des milliers de dollars investis dans des installations qui ne sont pas indispensables telles que la construction de sous-stations et la pose d'un nouveau câblage.

L'installation d'un groupe de condensateurs à la sous-station principale ou à l'entrée électrique de l'usine représente la solution la plus économique pour réduire les suppléments occasionnés par le facteur de puissance. Dans de nombreux cas, il peut être avantageux d'installer les condensateurs sur l'appareil qui est à la source du problème. Lors de l'installation de nouveaux moteurs, on peut utiliser des machines synchrones fournissant du courant déphasé en avant au lieu de condensateurs. Il est recommandé de consulter un service public, un entrepreneur ou un expert en électricité à ce sujet.

EFFETS CARACTÉRISTIQUES DE LA SOUS-TENSION SUR LE MATÉRIEL UTILISÉ.

Moteurs à induction. Une sous-tension de 10% diminue le couple de démarrage et de fonctionnement maximum de 19% et la vitesse à pleine charge de 1½%; elle accroît le courant à pleine charge de 11% et cause une légère hausse de la température de fonctionnement.

Lampes incandescentes. Une sous-tension de 10% diminue l'intensité de la lumière de 30%; à 20% elle diminue l'intensité de la lumière de 50%.

Lampes fluorescentes. Une sous-tension de 10% diminue l'intensité de la lumière d'environ 10%. Une tension basse est souvent la cause d'une mauvaise mise en marche.

Lampes à décharge à haute intensité. Une sous-tension de 10% diminue l'intensité de la lumière provenant de vapeurs de mercure de 15%, selon le type de ballast. La couleur peut aussi changer. Les lampes s'éteignent lorsque la sous-tension atteint 15 à 20%.

Appareils de chauffage à résistance. Une sous-tension de 10% cause une baisse de chaleur de 19%.

Appareils de chauffage à infrarouge. L'énergie rayonnante est proportionnelle à la température. La sous-tension augmente le temps de mise en marche et diminue la production.

Équipement électronique. La sous-tension diminue énormément la vie des tubes et peut détruire, en quelques minutes, ceux remplis de gaz.

Condensateurs. La capacité de correction des condensateurs varie selon le carré de la tension. Une sous-tension de correction de 19%.

Correction du coefficient de charge

Un autre facteur dont il faut tenir compte afin d'alléger les factures est le coefficient de charge, soit le rapport entre la consommation moyenne et l'appel de pointe. Le calcul du coefficient de charge s'obtient facilement en divisant la consommation totale en kWh par l'appel de pointe, multiplié par le nombre d'heures par mois (730). Le coefficient de charge détermine le coût de l'énergie par kWh pour l'usine.

Dans le cas d'une usine dont la consommation est de 86 000 kWh et l'appel de pointe de 560 kW, le coefficient de charge est de

$$\frac{86\,000}{730 \times 560} = .21 \text{ ou } 21\%,$$

soit un peu moins que la moyenne de 25% pour une usine fonctionnant avec un seul poste de 8 heures, cinq jours par semaine. Pour deux postes par jour, le coefficient de charge moyen se situe aux d'environs de 40%. Si l'on se base sur un coût de $2.00 du kW pour la puissance appelée, la partie de la facture réservée à cette consommation se chiffre à 560 × $2.00, soit $1 120. Le coût de l'appel de pointe et de la consommation se chiffre à $2 410. Le coût de la consommation globale s'élève à 86 000 kWh × 15 cents par kWh, soit $1 290. Comme dans la plupart des cas, le coût de l'appel de pointe représente presque 50% du montant total facturé. C'est un domaine dans lequel des économies importantes peuvent être réalisées.

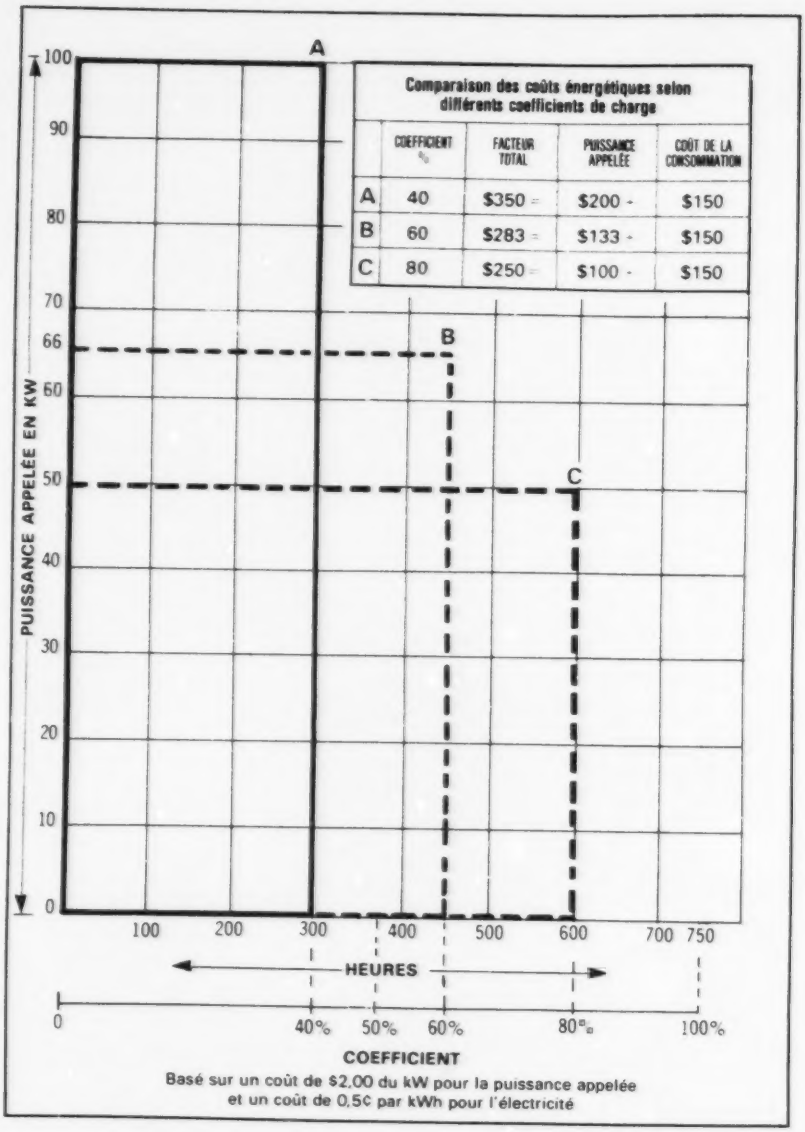
Dans l'exemple ci-dessus, le coût moyen du kWh s'élève à 2,5 cents. Mais si l'usine pouvait rééchelonner ses appels de pointe en faisant fonctionner certaines machines pendant un poste de nuit de façon à ce que le coefficient de charge atteigne 40%, le coût moyen baisserait à 2,18 cents du kWh et le montant facturé pour l'appel de pointe serait pratiquement réduit de moitié.

Comment un régulateur de puissance appelée (RPA) réalise-t-il des économies?

Les tarifs que les services publics appliquent avec leurs usagers industriels et commerciaux sont basés à la fois sur le maximum de la puissance appelée et sur la consommation totale.

La puissance appelée d'un usager est mesurée au moyen d'un compteur d'énergie de pointe qui enregistre la charge maximum en kW pour une période minimum de 10 à 15 minutes au cours du mois. La facturation de la puissance appelée sert à payer le coût d'installation de l'équipement de génération électrique alors que celle de la consommation totale couvre le coût du carburant et de l'entretien.

Le graphique illustre le rôle que joue la puissance appelée dans la facturation. Il est important de noter que la consommation totale, donc le coût de l'énergie totale consommée, demeure constante. Il est évident que le bloc C représente une utilisation beaucoup plus efficace de l'énergie électrique et de la capacité de génération que le bloc A. Le coût total sera donc moindre. La mesure de l'efficacité de l'utilisation d'énergie représente le coefficient de charge. Ce coefficient serait de 100% si la puissance utilisée restait constante pour chaque heure du mois. Le RPA a pour but de diminuer la puissance appelée, donc d'augmenter le coefficient de charge en régularisant certaines charges électriques secondaires. Le graphique ci-après montre l'influence du RPA sur la courbe de charge type d'un édifice tout à l'électricité. Pour faciliter la compréhension, la même représentation graphiques par blocs est utilisée. En déplaçant la pointe ou en la répartissant dans le temps (courbe de charge régularisée), les coûts de l'opération de régularisation sont souvent amortis dans les deux ans grâce aux économies réalisées.



Comparaison des coûts énergétiques selon différents coefficients de charge

	COEFFICIENT %	FACTEUR TOTAL	PUISSANCE APPELÉE	COÛT DE LA CONSOMMATION
A	40	$350 =	$200 +	$150
B	60	$283 =	$133 +	$150
C	80	$250 =	$100 +	$150

Basé sur un coût de $2,00 du kW pour la puissance appelée et un coût de 0,5¢ par kWh pour l'électricité

Afin d'illustrer ce principe, considérons deux machines d'une capacité respective de 100 kW qui fonctionnent simultanément pendant une heure dans le cadre d'un procédé de production. Le compteur de puissance appelée indique donc 200 kW, soit un total de $400 à $2 du kW.

Cependant, si la production est réorganisée de façon à ce que chaque machine fonctionne l'une après l'autre, le compteur de puissance appelée reste à 100 kW et le coût de l'appel de pointe est encore une fois réduit de moitié. Il est donc évident qu'en matière d'utilisation de l'électricité, il s'agit d'éviter les pointes et les creux.

Régulation des priorités

Lorsque le régime de pointe d'une usine est assez bien connu, des méthodes de régulation peuvent être mises en application, qu'il s'agisse de méthodes manuelles (voir: "Étude de cas") ou de procédés utilisant des régulateurs de puissance appelée ou des appareils de délestage en vente sur le marché. Même si l'étude de cas portant sur un régulateur de puissance appelée mentionne un investissement de $60 000, il existe d'autres modèles beaucoup moins coûteux qui conviennent aux besoins de nombreuses petites et moyennes exploitations industrielles.

Le délestage, lorsque la puissance appelée augmente, et l'apport de charge, lorsque la puissance appelée diminue, peuvent s'effectuer automatiquement, selon un ordre de priorité déterminé qui établit les charges devant être arrêtées en premier, souvent pour quelques minutes à la fois.

Le graphique illustre l'effet du délestage dans un bâtiment industriel tout à l'électricité. Les opérations de cette industrie n'ont été nullement affectées par

Un RPA peut aussi servir à

Contrôler une génératrice d'urgence:
Réduire la grosseur de l'appareillage de connexion d'un édifice.

En général un RPA ne perturbe pas le mode d'opération normal de l'édifice

Si on choisit avec soin le RPA du modèle qui convient à chaque type d'installation, le contrôle des charges secondaires n'aura pas ou peu d'effets sur le confort des occupants. Toutefois le choix du modèle et des caractéristiques d'opération est fonction de la masse thermique associée aux charges à contrôler, et avant d'arrêter ce choix, nous recommandons de consulter un représentant qualifié.

Théorie d'opération des RPA

À chaque instant, le RPA mesure la puissance consommée par l'édifice. Si la valeur mesurée dépasse un certain seuil, appelé puissance admissible, auquel le RPA est ajusté, ce dernier enlève une ou plusieurs des charges secondaires qui sont sous son contrôle de façon à maintenir la puissance au niveau admissible; lorsque la puissance consommée redescend sous le seuil, le RPA rajoute les charges enlevées au rythme où l'énergie redevient disponible.

Les deux premiers graphiques illustrent la façon dont le RPA enlève et ajoute des charges de façon à maintenir la puissance aussi près que possible de la valeur admissible.

Il est à noter dans le dernier graphique que l'ordre de priorité des charges sous contrôle est fixe. Ainsi la charge no 6 est enlevée en moyenne plus souvent que la charge no 1.

Le chauffage électrique d'un édifice peut être mis sous le contrôle d'un RPA

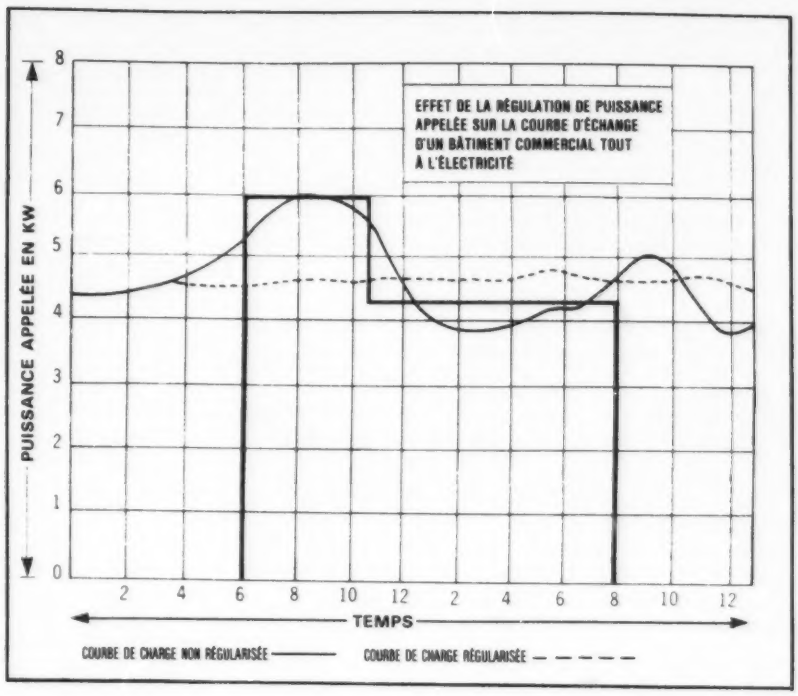
Le fait que certaines charges soient enlevées plus souvent que d'autres peut être un inconvénient dans le cas où ces charges correspondent au chauffage des différentes parties d'un édifice.

Le RPA peut être équipé d'un circuit facultatif, appelé commutateur cyclique de charges, lequel redonne aux charges qui sont sous son contrôle une priorité égale en leur distribuant à tour de rôle la quantité d'énergie disponible. À chaque instant, le nombre de charges raccordées et tel que la puissance ne dépasse pas la valeur admissible.

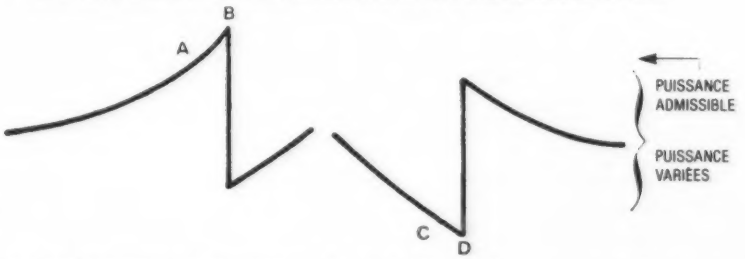
L'usage du commutateur cyclique permet d'alimenter de façon uniforme les charges correspondant à différentes zones de chauffage. Évidemment la quantité totale de chauffage disponible est inférieure à ce qu'elle serait sans le contrôle du RPA, mais il faut réaliser que si le RPA enlève des charges, la puissance consommée par d'autres charges qui ne sont pas sous son contrôle s'est accrue (par exemple les charges d'éclairage dans un édifice commercial), et que cette puissance contribue à l'échauffement de l'édifice dont les besoins en chauffage se trouvent ainsi diminués.

La valeur de puissance admissible peut s'ajuster de diverses façons

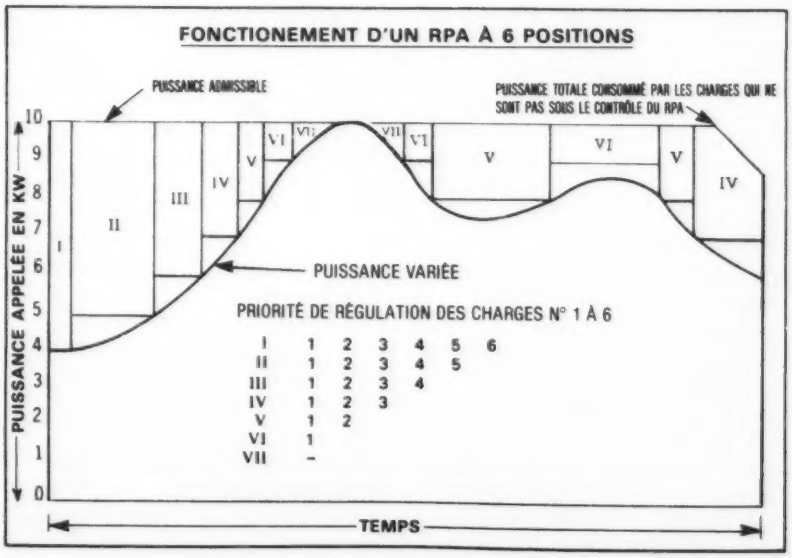
L'utilisateur peut ajuster manuellement le seuil de puissance admissible d'un RPA, ou il peut utiliser un circuit facultatif qui s'en chargera automatiquement. Il existe divers types de tels programmateurs automatiques, et un représentant pourra vous indiquer lequel correspond le mieux à chaque situation.



FONCTIONNEMENT DE LA RÉGULATION DE PUISSANCE APPELÉE



1. En A la puissance appelée par les installations du bâtiment dépasse la valeur admissible et en B le RPA enlève une charge, ramenant la puissance à une valeur acceptable.
2. En E la puissance appelée a suffisamment diminuée pour que le RPA puisse en D, ajouter une charge précédemment enlevée.



l'arrêt et l'échelonnement automatique des charges électriques visant à réduire la puissance appelée et les coûts d'installation de l'équipement ont été amortis en moins de deux ans.

Le moment ne saurait tarder où un service public pourra effectuer les opérations de délestage à la place des sociétés grâce à des compteurs automatiques commandés à distance. L'équipement nécessaire existe déjà et de multiples essais sont en cours dans les secteurs domestique et industriel.

Les dispositifs d'entraînement à vitesse variable pour les moteurs, une nouvelle étape

Nécessité est mère d'industrie: à mesure que l'escalade des prix des ressources énergétiques se poursuit, de nouveaux développements dans la technologie et l'équipement consacrés à la conservation de l'énergie vont apparaître sur le marché. Les ingénieurs de l'industrie et les détecteurs d'usine devront faire preuve de souplesse pour accepter ces développements et les mettre en application afin d'économiser l'énergie dans les usines canadiennes.

Citons l'exemple des dispositifs d'entraînement à vitesse variable à semi-conducteurs mis au point pour les moteurs et les pompes et maintenant en vente sur le marché. Il n'est guère possible de douter de leur utilité. Dans les secteurs industrialisés, les moteurs consomment environ 50% de la charge électrique totale et un plus grand pourcentage de la charge électrique utilisée par l'industrie. Par exemple, dans l'endustrie des pâtes et papiers les moteurs consomment plus de 90% de la charge électrique totale de l'industrie. Et rares sont ceux dont le régime est proche de leur charge nominale.

Le résultat se chiffre en pertes d'énergie et factures d'électricité plus élevées. Il existe d'autres dispositifs d'entraînement à vitesse variable tels que des accouplements à glissement, des dispositifs de réglage par résistance, etc. . . Mais tout en réduisant vitesse, ces dispositifs dissipent simplement le supplément d'énergie nécessaire à la charge sous forme de chaleur.

Dans le cas de moteurs à rotor bobinés, le régénérateur à semi-conducteurs récupère jusqu'à 97% de l'énergie excédentaire, la traite grâce à un convertisseur et la renvoie aux installations du service public. Pour un moteur à rotor bobiné dont le régime atteint 70%, l'efficacité peut être augmentée d'un bon 23%, soit de 59% à 82%.

Les applications possibles sont multiples dans le cas des pompes et des moteurs à rotor bobinés, mais l'une des plus importantes consiste à remplacer les palettes et les registres d'admission réglables dans les systèmes de climatisation à volume variable dont les ventilateurs doivent toujours fonctionner à pleine vitesse.

Le gain de rendement énergétique, tel qu'indiqué sur le graphique, est énorme. Mais comme ces appareils ne peuvent être utilisés avec les moteurs à cage d'écureuil classiques moins chers, la situation économique à venir peut très bien nous pousser à remplacer ceux-ci par des nouveaux moteurs et à installer des régulateurs.

Sur le marché, les dispositifs d'entraînement à vitesse variable sont accueillis avec une certaine méfiance car le genre de ces moteurs non mécaniques à semi-conducteurs représente une nouveauté pour de nombreux ingénieurs de l'industrie. Pourtant, au prix de $80 le hp pour un gros moteur (jusqu'à $500 le hp pour de plus petits), les frais supplémentaires peuvent être rapidement amortis grâce à l'économie d'énergie réalisée.

Munis de dispositifs de correction du facteur de puissance et de limitation du courant, les régulateurs offrent des possibilités d'économie d'énergie substantielles pour un grand nombre d'applications industrielles et autres. Selon certaines prévisions il peut s'agir de 500 à 4 000 kWh par hp et par année dans le cas d'un moteur. Mais il faut d'abord admettre que ces régulateurs sont à la pointe du progrès, et les utiliser à la fois dans l'équipement nouveau et les installations modernisées.

Possibilités particulières à chaque usine

Les caractéristiques de gestion des matériaux dans les diverses industries sont si différentes qu'il est difficile de proposer des types de programmes précis pour optimiser la production et l'utilisation de l'énergie dans une usine donnée. Cependant, il ne fait aucun doute que les possibilités d'allègement de la demande énergétique et des factures sont nombreuses à condition que la situation reçoive une attention suffisante.

Dans de nombreux cas, les techniques considérées auront des effets suffisamment étendus pour que de nombreux services de la compagnie soient appelés à participer activement au processus de planification, peut-être en participant à un comité de conservation de l'énergie.

S'il ressort, par exemple, que la concentration de la production d'une pièce donnée sur deux jours, 24 heures par jour, est énergétiquement plus rentable qu'un programme sporadique échelonné sur un seul poste de travail pendant cinq jours, il est essentiel de tenir compte d'autres facteurs tels que le coût de la main-d'oeuvre et le coût de l'espace nécessaire à l'entreposage du produit manufacturé, lors de la prise de décision.

Là encore, de nombreuses substitutions doivent être envisagées. Mais ceci ne doit pas constituer un obstacle à la conservation de l'énergie. Si l'expérience de sociétés intéressées à la conservation de l'énergie peut servir d'exemple, on peut dire que les substitutions sont principalement des facteurs utiles pour le choix d'un ordre de priorité des projets énergétiques, dans le cadre d'une évaluation du rendement de la société.

Encore plus fondamental est le rapport qui existe pour chaque industrie entre l'utilisation de l'énergie et la productivité. Dans l'industrie des produits chimiques par exemple, on reconnaît traditionnelle-

ment que 95% de l'énergie sert à fabriquer 75% de la production. En d'autres mots, le coût "fixe" de l'énergie de base (éclairage et chauffage de l'usine, mise en marche des procédés et de l'équipement) est tel que le 25% restant de la production consomme seulement 5% de toute l'énergie utilisée.

Il est évident que cette règle empirique varie d'une industrie à l'autre, selon la nature du procédé de fabrication (procédé continu par rapport à un procédé par lots, par exemple) et l'entensité de l'énergie. Il apparaît également fort possible que la mise au point de procédés et de matériel faisant une meilleure utilisation de l'énergie change quelque peu les rapports actuels. Néanmoins, la relation fondamentale entre la consommation énergétique et la production doit être bien comprise avant d'entreprendre des modifications importantes en matière de production.

Parmi les exemples cités dans les études de cas ci-après, nombre d'entre eux décrivent des situations dans lesquelles le taux de production n'est nullement affecté. Ces exemples sont une première occasion de faire progresser la cause de la conservation de l'énergie et de préparer la voie à des modifications fondamentales plus nombreuses qui peuvent se révéler justifiées maintenant ou plus tard.

ÉTUDE DE CAS

Économies d'énergie grâce à la lubrification automatique

Exposé: une cimenterie des États-Unis utilisait des procédés de lubrification manuels sur deux types de mécanismes importants pour leurs opérations. Il en résultait un gaspillage de lubrifiant (et de l'énergie nécessaire à la production du lubrifiant). La société décida d'utiliser un nouveau système de lubrification en vue de réduire les coûts d'entretien et de prolonger la durée utile de l'équipement.

Mesure prisè

1. Les trains d'engrenage de trois broyeurs étaient vaporisés manuellement toutes les deux heures avec un produit pour engrenages. Cette opération consommait 4 350 gallons de lubrifiant par an. L'installation d'un dispositif de lubrification automatique par vaporisation d'huile a réduit cette consommation à 150 gallons par an.
2. L'installation d'un dispositif de lubrification automatique sur un groupe de sept broyeurs de ciment a réduit la consommation annuelle de lubrifiant de 3 600 gallons à moins de 200 gallons.

Économies réalisées

1. (4350 — 150) gallons par an × 8 lb par gallon × 0 2725 $ la lb = $9 156 par an
2. (3600 — 200) gals par an × 8 lb par gal × 0 40 $ la lb = $10 880 par an soit un total de $20 036 économisés chaque année

Coût des améliorations: inconnu

Suggestions: envisager l'utilisation d'un matériel de lubrification automatique afin de réduire les coûts de lubrifiant. Dans l'exemple ci-dessus, si l'on se base sur une consommation de 0 140 MBTU par gallon pour la production du lubrifiant, les économies d'énergie réalisées se chiffrent à plus de 1075 MBTU par an.

Arrêt automatique des presses à découper

Exposé: dans une usine de la General Motors, l'arrêt des presses à découper pendant les postes se faisait manuellement, selon les besoins des opérateurs.

Mesure prisè: les circuits de commande des moteurs principaux de 54 presses ont été équipés d'un relais à action différée de 10 à 15 minutes. Ce dispositif, normalement fermé, arrête le moteur de la presse automatiquement lorsque celle-ci n'est pas actionnée à l'intérieur du délai fixé. L'opérateur remet le moteur de la presse en marche à partir du tableau de commande de la machine.

Économies réalisées

Énergie: 913 000 kWh pour 54 presses, selon les estimations.

Dollars: 913 000 kWh à $0,25 du kWh = $22 825 par an.

Coût des améliorations: $2 400, y compris le facteur main-d'oeuvre.

Suggestions: envisager l'utilisation de différents types de commandes automatiques pour arrêter l'équipement électrique, gros consommateur d'énergie, lorsqu'il n'est pas nécessaire qu'il fonctionne.

Nettoyage des matières moins onéreuses grâce à des contrôleurs à came

Exposé: dans une usine de la General Motors équipée de presses, le nettoyage des matières se faisait par jet continu d'air comprimé à 100 lb/po² pour enlever la poussière et les barbures. L'air comprimé n'était utilisé que pour un bref instant durant le fonctionnement de la presse; le jet continu d'air représentait donc une perte d'énergie et d'argent substantielle.

Effort d'amélioration: des contrôleurs à came furent installés afin de produire un bref jet d'air au moment prévu du cycle de la presse.

Économies réalisées:

Énergie: consommation d'air comprimé avant la modernisation: 6240 cfh × 8 machines
= 49 920 cfh

Consommation actuelle:
1560 × 8 machines = 12 480 cfh
soit 49 920 – 12 480 = 37 440 cfh × ,00598
= ,2239 MMBTU économisés par an

Dollars: 860 MMBTU par an à $.025 kWh = $6 250 par an.

Coût des améliorations: $85 × 8 machines = $680.

Suggestions: des économies importantes demeurent possibles lorsqu'on peut installer des dispositifs de commande permettant une meilleure utilisation de l'air comprimé. De plus, l'installation d'indicateurs de volume sur certaines pièces du matériel fonctionnant à l'air permettrait à l'opérateur de déterminer l'utilisation optimale de l'air.

Amélioration du facteur de puissance grâce aux condensateurs

Exposé: en Ontario, La Libby, McNeil and Libby de Wallaceburg faisait installer en 1957, un groupe de condensateurs de 240 kVar commandés manuellement afin d'améliorer son facteur de puissance. Cependant, la direction s'aperçut que cette capacité était insuffisante pour répondre aux besoins de l'usine et que ce facteur de puissance était tombé en-dessous de 80%. Le service public desservant l'usine lui facture des suppléments dès que le facteur de puissance est inférieur à 90%.

Mesure prisè: la société a installé un autre groupe de condensateurs de 120 kVar et un dispositif de commutation automatique mettant en circuit de façon permanente le groupe de condensateurs déjà installé.

Économies réalisées:

Énergie: aucune

Dollars: sans l'installation des condensateurs, la société aurait dû payer $5 025 de suppléments par an en raison du facteur de puissance insuffisant.

Coût des améliorations: $8 050. Une analyse du flux monétaire actualisé indique un taux d'amortissement simple prendrait moins de deux ans.

Suggestions: même si l'usine est déjà équipée de condensateurs corrigeant le facteur de puissance, surveiller attentivement les factures d'électricité pour s'assurer qu'elles ne sont pas grevées des suppléments suite à l'installation de nouvelles machines dans l'usine.

Amélioration d'un facteur de puissance insuffisant grâce à un tableau de commande des condensateurs

Exposé: la direction de l'usine d'International Harvester située à Candiac (Qué.) constata que des pertes économiques provenaient d'un facteur de puissance insuffisant atteignant en moyenne 87%.

Mesure prisè: la société a installé cinq condensateurs de 30 kVar et un tableau de commande en 8 étapes afin d'augmenter le facteur de puissance à 95%, d'éliminer les suppléments payés à l'Hdro Québec et de réduire la consommation d'électricité en minimisant les pertes de chaleur se produisant dans les lignes et les transformateurs. Dans ce dernier cas, l'installation de condensateurs réduit la composante dèwattée dans les lignes qui ne fait qu'engendrer une certaine chaleur inutilement dissipée dans l'atmosphère.

Économies réalisées: suppléments éliminés dans la facturation: $1 132 par an. Réduction des pertes de chaleur dans les lignes et les transformateurs de 7%, soit une économie de $1 534 par an. Montant total économisé annuellement: $2 666.

Coût des améliorations: $7 500.

Suggestions: envisager l'utilisation de condensateurs ou de moteurs synchrones pour améliorer le facteur de puissance et éviter les suppléments des factures d'électricité.

Réduction de la température et de la vitesse des convoyeurs dans les étuves

Exposé: aux États-Unis, les étuves d'une usine Buick fonctionnaient à des vitesses et à des températures extrêmement élevées sans pour cela offrir un produit fini de meilleure qualité. La vitesse des convoyeurs était également plus élevée qu'il n'était nécessaire pour répondre aux normes de production.

Mesure prisè: on réduisit la vitesse des convoyeurs dans les étuves ainsi que les températures pour compenser la diminution de vitesse.

Consommation avant les améliorations apportées: en période de fonctionnement: 5 300 cfh × 1 000 BTU par cf × 16 heures par jour × 230 jours par an = 19 504 MMBTU par an.

En période de repos: 530 cfh × 10 000 BTU par cf × 8 heures par jour × 230 jours par an = 975 MMBTU par an. Consommation totale: 20 479 MMBTU par an.

Consommation actuelle: en période de fonctionnement: 4 500 cfh × 1 000 BTU par cf × 16 heures par jour × 230 jours par an = 16 500 MMBTU par an. Consommation totale: 17 388 MMBTU par an.

Économies réalisées:

Énergie: 20 479 MMBTU - 17 388 MMBTU = 3 091 MMBTU par an.

Dollars: 3 091 MMBTU par an = 3 091 Mcf à $2.00 du Mcf = $6 182 par an.

Coût des améliorations: nul

Suggestions: s'interroger sur les températures des étuves et des procédés ainsi que sur les taux de production qui "ont toujours été ainsi". Des économies importantes peuvent être réalisées en modelant le procédé selon des normes de production et de qualité établies avec précision.

Diminution de la puissance appelée grâce au rééchelonnement manuel

Exposé: une usine américaine était équipée de 12 fours chauffés par des résistances, chaque four fonctionnant à sa pleine charge de 30 kW pendant deux heures après la mise en marche et se stabilisant à un coefficient de maintien de la température de 10 kW. Toutes les 24 heures, chaque four passait par un cycle complet de réchauffement, de stabilisation et de refroidissement et la direction de l'usine désirait échelonner le fonctionnement des fours de façon à diminuer la puissance appelée et les coûts qui en résultaient.

Mesure prisè: un programme de fonctionnement des fours fut établi de façon à ce qu'il n'y ait pas plus de deux fours en période de réchauffement à la fois.

Économies réalisées:

Énergie: les 12 fours sont tous en période de réchauffement. Puissance appelée: 12 fours × 30 kW = 360 kW — 2 fours sont en période de réchauffement et les 10 autres en période de stabilisation. Puissance appelée: (2 fours × 30 kW) + (10 fours × 10 kW) = 160 kW. Diminution de la puissance appelée: 360 kW - 160 kW = 200 kW.

Dollars: 200 kW × $1,50 du kW par mois × 12 mois par an = $3 600 par an.

Suggestions: un programme efficace d'utilisation de l'équipement peut aboutir à des économies substantielles dans le coût de l'énergie de pointe, que l'on utilise ou non des régulateurs de puissance appelée.

Amélioration du rendement grâce à l'élimination des temps morts entre les postes

Exposé: dans une usine de montage de fourgons de la General Motors, les deux postes de travail étaient séparés par un temps mort d'une heure pendant laquelle l'équipement restait en marche.

Mesure prisè: les opérations de l'usine furent réorganisées de façon à éliminer le temps mort d'une heure entre les postes de travail et ainsi l'heure de fonctionnement à vide des machines.

Économies réalisées:

Énergie: 35 000 MMBTU par an en gaz naturel et en électricité.

Dollars: 35 000 MMBTU par an à $2.00 le MMBTU (environ). $70 000 par an.

Coût des améliorations: nul.

Suggestions: une meilleure organisation des postes de travail ou l'élimination des postes à mi-temps ou des postes inutiles peut avoir des répercussions importantes sur le coût de l'énergie. Les temps morts pendant lesquels l'équipement continue à fonctionner deviennent la source de lourdes augmentations dans les factures d'électricité et dans le coût de l'énergie par unité de production. Une autre solution possible lorsqu'il s'agit d'éviter les problèmes de circulation dus à des postes de travail consécutifs serait d'utiliser un petit ordinateur commandant les cycles de charge.

Diminution de la consommation énergétique mais, maintien de la qualité grâce à l'application d'une seule couche de peinture

Exposé: à l'usine John Deere Limited de Welland, en Ontario, une étude de la consommation énergétique, concluait, preuves à l'appui, que d'importantes économies d'énergie étaient possibles dans les opérations en deux étapes de peinture de pièces métalliques et autres, sans pour cela diminuer les normes de qualité.

Mesure prisè: pendant la période de fermeture de l'été afin de ne pas interrompre la production, la société construisit un système de peinture en une seule étape éliminant l'utilisation d'une étuve pour couches de base qui consommait 2 565 lb de vapeur à l'heure. On modifie également l'installation d'une étuve effectuant le lavage et le séchage à 160° F de façon à ce que toute la vapeur perdue en cours d'opération soit dirigée dans un système de remise en circulation utilisant 80% des 47 000 cfm d'air dégagés à la sortie.

Économies réalisées:

Énergie: 44% de l'ensemble de la consommation, soit 32 000 MMBTU par an.

Dollars: $64 000 par an.
L'élimination de la couche de base et du dissolvant nécessaire représente une économie de $142 000 par an. L'économie totale se chiffre à $206 000 par an.

Coût des améliorations: l'investissement total se chiffre à $274 000, y compris les coûts directs et indirects. Le calcul du flex monétaire actualisé un taux d'amortissement de 53% en 17 mois.

Suggestions: envisager la simplification et la réorganisation des systèmes de production afin d'optimiser l'utilisation de l'énergie et de réduire les pertes. Dans l'exemple ci-dessus, le nouveau système permet non seulement un meilleur rendement mais encore une réduction de l'espace nécessaire et une augmentation de la capacité de production de 56%.

Réduction de la puissance appelée et de la consommation grâce aux régulateurs de puissance appelée

Exposé: face aux augmentations continuelles du coût de l'électricité et au système de facturation tenant compte à la fois de la puissance appelée et de la consommation totale, le complexe de la Canadian General Electric situé sur les rues Davenport, Royce et Ward était fortement intéressé à la réduction de la puissance appelée et à la réduction consécutive des factures d'électricité.

Mesure prisè: la société installa un régulateur de puissance appelée qui réduisit la puissance appelée du complexe industriel de 1 000 kW. Le régulateur a permis de commander le fonctionnement de certaines installations (chaudières, fours et système de réfrigération) pendant les périodes creuses uniquement, soit en fin d'après-midi et en soirée. D'autres appareils tels que des machines à mouler et des climatiseurs individuels sont mis en marche pour de brèves durées en période de pointe sans nuire aux besoins de la production. Le régulateur permet également de réduire les pertes d'énergie pendant la nuit et les fins de semaine en éteignant automatiquement les lumières et les climatiseurs dans les différents bâtiments de l'usine.

Économies réalisées:

Énergie: 1 MMkWh grâce à la réduction de la puissance appelée.

Dollars: réduction du coût de la puissance appelée: $50 000 réduction de l'énergie consommée: 1 MMkWh: $7 600
Économie totale: $57 600.

Coût des améliorations: inconnu.

Suggestions: étudier la possibilité d'installer un régulateur de puissance appelée afin de réduire la puissance appelée et le coût qui en résulte. D'autres modèles, plus petits que celui installé au complexe de la General Electric, sont en vente sur le marché. Lorsque l'installation d'un régulateur de puissance appelée est incompatible avec les objectifs de la société, envisager l'utilisation de moyens de régulation manuels.

Allègement des factures et concentration de l'énergie électrique grâce à un programme de régulation de l'énergie de pointe

Exposé: les usines de la Société Inco Ltd situées dans la région de Sudbury utilisent des sources d'électricité de 25 et 60 Hz. Environ 12000 kW d'une source de tension de 25 Hz et 220 000 kW d'une source de tension de 60 Hz sont fournis par Ontario Hydro. La puissance supplémentaire nécessaire provient de deux centrales hydro-électriques de la société d'une capacité de 30 MW sous une tension alternative de 25 Hz et de trois autres centrales hydro-électriques de la société d'une capacité de 19 MW sous une tension alternative de 60 Hz. La société Inco Ltd possède également deux turbines à vapeur installées dans l'usine de récupération du minerai de fer qui ont une capacité de 9 MW et utilisent les pertes de chaleur.

En raison des augmentations prévues du coût de l'électricité, le service responsable de l'approvisionnement en électricité mit au point un programme de réduction du coût de l'électricité. Les principaux éléments du programme comprenaient l'augmentation du rendement des centrales hydro-électriques et un programme de régulation de la puissance appelée.

Mesure prisè: en raison des effets prévus sur la production, le programme de régulation de la puissance appelée n'a pas été entrepris sans l'approbation de la direction générale. Une analyse de la charge a été effectuée dans chaque usine à l'aide d'enregistreurs et on a consulté la direction de chaque usine pour établir comment les pointes d'énergie pouvaient être réduites à partir d'un rééchelonnement des charges. Ce rééchelonnement n'entraîna aucun coût.

On établit qu'il était essentiel de prévoir la consommation de pointe pour un mois donné afin de pouvoir régulariser la pointe d'énergie. Ainsi, à la fin de chaque mois, chaque usine est consultée afin d'obtenir son programme de production pour le mois suivant. À partir de ces données et de l'équipement de régulation disponible, on prévoit la consommation de pointe pour le mois à venir. L'opérateur du réseau électrique est responsable de la régulation de l'énergie de pointe. Il est secondé par un détecteur numérique de la puissance appelée qui indique la consommation d'électricité provenant de l'extérieur. L'opérateur régularise l'énergie de pointe grâce à la capacité de génération électrique de la société et par l'arrêt sélectif de l'équipement.

Économies réalisées
Énergie: la régulation de l'énergie de pointe économise en effet l'électricité achetée dans le cadre du programme de l'Inco. Il est nécessaire d'obtenir la permission de l'opérateur du réseau électrique pour mettre les grosses machines (plus de 500 hp) en marche et ces machines ne fonctionnent que pendant les périodes d'utilisation. Grâce à ce programme, les employés d'Inco ont appris à connaître le coût de l'électricité et à éviter le gaspillage. Au cours de la troisième année d'existence du programme, les projets de réduction du coût de l'électricité dont le programme de régulation de la puissance appelée représentait la plus grosse tranche ont permis des économies dépassant le million de dollars.

Suggestions: réduire les pointes d'énergie soit par la réorganisation des opérations soit par l'installation de dispositifs automatiques de délestage. Une gamme d'appareils convenant aux petits et aux gros consommateurs d'électricité sont en vente sur le marché. Le programme de l'Inco fait appel à une connaissance plus précise des programmes d'utilisation de l'électricité. La société a donc installé des appareils de mesure numérique des impulsions sur les sources d'électricité et elle utilise du matériel portatif pour le contrôle des charges. L'analyse des charges est facilitée grâce à la mise au point de programmes d'ordinateur.

Amélioration des opérations de broyage grâce à un broyeur à marteau plus petit

Exposé: l'usine de Griffith Laboratories installée à Cannington, en Ontario, devait moderniser une chaîne de production de céréales moulues en marche 24 heures par jour.

Le procédé de production reposait sur un gros broyeur à marteau fonctionnant à des vitesses élevées et qui était entraîné par un moteur électrique d'une puissance de 75 hp. On décida que ce broyeur consommait une quantité d'électricité trop élevée.

Mesure prisè: dans le cadre des opérations de modernisation, la direction remplaça le gros broyeur à marteau par un broyeur plus petit à meilleur rendement, ne nécessitant qu'un moteur de 10 hp. En plus de diminuer la consommation d'électricité, l'installation du nouveau broyeur a permis la production de céréales plus homogènes et de meilleure qualité.

Économies réalisées:

Énergie: 75 hp — 10 hp = 65 hp X 24 heures par jour X .746 = 1 164 kWh par jour. 1 164 kWh par jour X 5 jours par semaine par an X 52 semaines par an = 302 640 kWh.

Dollars: 302 640 kWh à $.025 le kWh = $7 566 par an.

Suggestions: lorsque vient le temps de remplacer du matériel, ne pas se fier aux caractéristiques existantes sans s'assurer qu'elles ont été établies à partir d'une évaluation précise des besoins de production.

Amélioration du facteur de puissance grâce à l'utilisation de moteurs synchrones

Exposé: dans l'Ouest canadien, les installations d'injection miscible d'un gisement pétrolifère furent équipées de trois gros moteurs à induction d'une puissance totale de 2 600 hp et d'un certain nombre de moteurs auxiliaires d'une puissance totale de 1 500 hp. On installa également un compresseur entraîné par un moteur synchrone de 1 750 hp capable de fonctionner avec un facteur de puissance de 80%, en avance sur la tension et habituellement réglé de façon à réduire la charge totale de l'usine à 5 152 kVA pour un facteur de puissance de 92%.

Mesure prisè: l'installation du moteur synchrone a permis de réduire considérablement le facteur de puissance qui avait été augmenté, comme le démontrent les calculs suivants:

Charge totale des moteurs: 4 699 kW.

Insuffisance de kVar due aux moteurs à induction: 3 063 kVar.
Surplus de kVar dû au moteur synchrone: 1 027 kVar.
Différence: 3 063 kVar — 1 027 kVar = 2 036 kVar.
Puissance appelée totale: $4\,699^2 + 2\,036^2 = 5\,121$ kVA.
Facteur de puissance = $\frac{4\,699 \text{ kW}}{5\,121 \text{ kVA}} = 92\%$

Économies réalisées:

Énergie: aucune économie

Dollars: après l'installation du moteur synchrone, la facturation portait sur la plus élevée des deux valeurs suivantes:
4 699 kW ou (0.9 × 5 121 kVA) = 4 609 kW.
Avec une consommation de 4 699 kW, la facture d'électricité s'élève à $24 899 par an. En utilisant un moteur à induction de 1 750 hp au lieu d'un moteur synchrone, la consommation totale de kVA aurait été de 6 294 pour un facteur de puissance de 75%, soit un coût de $29 823 par mois. L'économie réalisée en coût de l'électricité se chiffre donc à $29 823 - $24 899 = $4 924 par mois.

Coût des améliorations: Uniquement le coût du moteur synchrone.

Suggestions: envisager l'utilisation de moteurs synchrones en même temps que d'autres méthodes (voir exposé de la brochure) pour améliorer le facteur de puissance et alléger les factures d'électricité.

Diminution de la consommation d'énergie grâce à l'arrêt des fours pendant le troisième poste de travail

Exposé: les fours à gaz à hautes températures utilisés par une usine Chevrolet, aux États-Unis, pour la fabrication des ressorts à boudin étaient gardés à la température de 725° C pendant le troisième poste de travail alors qu'ils n'étaient pas utilisés.

Mesure prisè: les fours sont maintenant arrêtés à la fin du deuxième poste de travail et remis en marche au début du premier poste du lendemain.

Économies réalisées:

Énergie: consommation avant l'arrêt des 8 fours: 3 000 cfh × 24 heures × 250 jours × 8 = 144 MMcf par an. Consommation actuelle = 3 000 cfh × 19 heures × 250 jours × 8 = 114 MMcf par an. Économies réalisées = MMcf par an.

Dollars: 30 MMcf à $2.00 le Mcf = $60 000 par an.

Coût des améliorations: aucun.

Suggestions: s'efforcer de s'assurer que l'équipement consomme de l'énergie uniquement l'orsqu'il contribue activement à la production de l'usine. Arrêter l'équipement en marche signifie arrêter l'escalade des factures d'électricité. Envisager l'utilisation de contrôleurs à came si les fours nécessitent une période de réchauffement.

Économies grâce à l'optimisation de la chaîne de production

1. Arrêter le matériel thermique industriel pendant les périodes d'arrêt.
2. Établir les causes de consommation d'électricité et des pointes de consommation puis, réorganiser l'exploitation de façon à éviter ces pointes.
3. Baisser la température du matériel thermique industriel pendant les périodes d'attente.
4. Utiliser le matériel au meilleur rendement à sa capacité maximum et le matériel au rendement plus faible seulement lorsque nécessaire.
5. Ne pas dépasser les indications ou les normes de traitement thermique des pièces.
6. Prévoir les opérations d'entretien courant pendant les périodes d'arrêt.
7. Envisager des périodes d'exploitation ininterrompues de trois ou quatre jours plutôt qu'un ou deux postes de travail par jour.
8. Minimiser le fonctionnement du matériel qui doit être gardé en attente.
9. Réduire la durée de fonctionnement du matériel aux périodes indispensables.
10. Optimiser l'importance des lots produits et la diversification de ces lots.
11. Arrêter les convoyeurs, les chariots élévateurs, etc., pendant les périodes d'arrêt.
12. Recharger les batteries du matériel de manutention en dehors des périodes de pointe de consommation.
13. Ajuster et entretenir les chariots élévateurs de façon à obtenir le meilleur rendement possible.
14. Arrêter le matériel de construction fonctionnant au diesel lorsqu'il n'est pas utilisé.
15. Utiliser du matériel de grandeur et de capacité optimum.
16. Améliorer les convoyeurs.
17. Utiliser des moyens d'alimentation par gravité lorsque possible.
18. Prévoir le temps de cuisson des articles de grandes et de petites dimensions de façon à minimiser la consommation énergétique.
19. Utiliser de l'équipement à marche continue qui retienne les convoyeurs employés en chauffage industriel dans la chambre thermique.
20. Remplacer la production de lots par la production continue.
21. Minimiser le matériel superflu dans le procédé de traitement thermique.
22. Modifier la conception des produits de façon à réduire la quantité d'énergie nécessaire à leur production.
23. Réduire la production de rebuts.
24. Améliorer l'équipement trop vieux ou peu utilisé.
25. Installer des condensateurs ou utiliser d'autres moyens permettant d'améliorer les facteurs de puissance et d'éviter les suppléments de consommation.
26. Régulariser les pointes et les creux de consommation d'électricité afin d'améliorer le coefficient de charge.
27. Envisager l'utilisation de régulateurs manuels ou d'appareils de délestage automatiques afin de réduire les pointes de consommation d'électricité.
28. Envisager l'utilisation de dispositifs d'entraînement à vitesse variable dans les moteurs à bobinage sphériques.

USAGE DANS LE SI

Quelques unités SI dérivées

Grandeur	Nom de l'unité	Symbole	Equivaut à
force	newton	N	$kg \cdot m/s^2$
pression	pascal	Pa	N/m^2
travail, énergie, quantité de chaleur	joule	J	N·m
puissance, flux énergétique thermique	watt	W	J/s
quantité d'électricité	coulomb	C	A·s
potentiel électrique	volt	V	W/A
résistance électrique	ohm	Ω	V/A
capacité électrique	farad	F	C/V
flux d'induction magnétique	weber	Wb	V·s
induction magnétique	tesla	T	Wb/m^2
inductance	henry	H	Wb/A
fréquence	hertz	Hz	s^{-1}
flux lumineux	lumen	lm	cd·sr
éclairement	lux	lx	lm/m^2

Exemples d'unités SI dérivées exprimées en termes d'autres unités

Grandeur	Description	Expression en d'autres unités SI
superficie	mètre carré	m^2
volume	mètre cube	m^3
vitesse — linéaire — angulaire	mètre par seconde radian par seconde	m/s rad/s
accélération — linéaire — angulaire	mètre par seconde carrée radian par seconde carrée	m/s^2 rad/s^2
masse volumique	kilogramme par mètre cube	kg/m^3
viscosité dynamique	pascal-seconde	Pa.s
moment d'une force	newton-mètre	N.m
densité de flux thermique, éclairement énergétique	watt par mètre carré	W/m^2
capacité thermique, entropie	joule par kelvin	J/K
chaleur massique, entropie massique	joule par kilogramme kelvin	J/(kg K)
énergie massique	joule par kilogramme	J/kg
conductivité thermique	watt par mètre-kelvin	W/(m.K)
énergie volumique	joule par mètre cube	J/m^3
perméabilité	henry par mètre	H/m
résistance thermique (R)	mètre-kelvin carré par watt	$m^2.K/W$.

Unités SI en équivalence communément employées et leurs facteurs de conversion

1 pouce = 25 mm	1 verge cube = 0.76 m^3
1 pied = 0.30 m	1 pinte (lq) = 1.1 L
1 verge = 0.91 m	1 gallon = 4.5 L
1 mille = 1.6 km	1 once = 28 g
1 pouce carré = 6.4 cm^2	1 livre = .45 kg
1 verge carré = 0.84 m^2	1 horsepower (R-U) = 745 W
1 acre = 0.40 ha	1 livre-force = 4.4 N
1 pouce cube = 16 cm^3	1 livre-force par pouce carré = 6.8 kPa
1 pied cube = 28 dm^3	

Préfixes SI

Facteur de multiplication	Préfixe	Symbole
1.000 000 000 000 000 000 = 10^{18}	exa	E
1 000 000 000 000 000 = 10^{15}	péta	P
1 000 000 000 000 = 10^{12}	téra	T
1 000 000 000 = 10^{9}	giga	G
1 000 000 = 10^{6}	méga	M
1 000 = 10^{3}	kilo	k
100 = 10^{2}	hecto	h
10 = 10^{1}	déca	da
0.1 = 10^{-1}	déci	d
0.01 = 10^{-2}	centi	c
0.001 = 10^{-3}	milli	m
0.000 001 = 10^{-6}	micro	μ
0.000 000 001 = 10^{-9}	nano	n
0.000 000 000 001 = 10^{-12}	pico	p
0.000 000 000 000 001 = 10^{-15}	femto	f
0.000 000 000 000 000 001 = 10^{-18}	atto	a

Unités pouvant être utilisées avec les unités SI

Grandeur	Nom	Symbole	Définition
temps	minute heure jour	min h d	1 min = 60 s 1 h = 3600 s 1 d = 86 400 s
angle plan	degré minute seconde	° ' "	$1° = (\pi/180)$ rad $1' = (\pi/10\,800)$ rad $1'' = (\pi/648\,000)$ rad
superficie	hectare	ha	1 ha = 1 hm^2 = 10 000 m^2
volume	litre	L	1 L = 1 dm^3
température	degré Celsius	°C	pour les intervalles de température 1°C = 1 K
masse	tonne	t	1 t = 1000 kg = 1 Mg